

УДК 504.064

В.Л. КЛЕЄВСЬКА

Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Україна

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗОНИ МОЖЛИВОГО УРАЖЕННЯ ЙМОВІРНОЇ ПОЖЕЖІ ВНАСЛІДОК ВПЛИВУ ЗАБРУДНЕННЯ ПРОДУКТАМИ ЗГОРЯННЯ**

У статті описана запропонована автором модель процесів масообміну між зоною горіння пожежі та навколишнім природним середовищем, а також розроблена на її основі інформаційна технологія прогнозування основних параметрів зони можливого ураження ймовірної пожежі внаслідок впливу продуктів згоряння.

**інформаційна технологія, зона горіння, висхідна гілка димових газів, низхідні гілки, зона можливого ураження**

**Вступ**

За даними МНС України [1] на протязі останніх років серед більше ніж 6000 осіб, які щорічно гинуть чи отримують ураження внаслідок впливу уражальних чинників пожежі (УЧП), значну частину складають люди, отруєні токсичними продуктами згоряння. Однією з основних причин тяжких наслідків пожеж в Україні (та й у інших країнах світу) є обмеженість або повна відсутність (на момент надходження оповіщення про виникнення чергової пожежі) у керівництва органів управління і пожежних частин (підрозділів) інформації, конче необхідної для своєчасного створення і направлення на місце пожежі угруповання пожежних підрозділів, кількісний і якісний склад якого міг би забезпечити гарантоване рятування людей, ефективну локалізацію і ліквідацію цієї пожежі. Зокрема, відсутня інформація щодо форми, геометричних розмірів, просторового розташування та інших параметрів зон можливого ураження внаслідок впливу уражальних чинників пожежі.

**Формулювання проблеми.** Згідно з [2], основними уражальними чинниками пожежі є її теплове випромінювання, задимлення та хімічне забруднення навколишнього природного середовища продук-

тами згоряння. Джерелом кожного з цих УЧП є зона горіння (ЗГ) пожежі. Навколо ЗГ внаслідок впливу уражальних чинників пожежі утворюються її зони можливого ураження –  $ZMU_{\text{тепл}}$  (внаслідок впливу теплового випромінювання) і  $ZMU_{\text{хім}}$  (внаслідок впливу задимлення і хімічного забруднення продуктами згоряння).

Наприклад, люди, які опинилися в межах  $ZMU_{\text{хім}}$  можуть загинути або отримати тяжкі ураження органів зору, серцево-судинної і дихальної систем, порушення роботи нервової системи, загальне отруєння організму небезпечними хімічними речовинами (НХР) продуктів повного і неповного згоряння. Необхідну для їх ефективного рятування кількість рятувальників –  $N_{\text{рят}}$  і спеціальних пожежних машин  $N_{\text{спец.пож.маш}}$  можна визначити з використанням інформації щодо форми, геометричних розмірів і просторового розташування  $ZMU_{\text{хім}}$ . На жаль, в наш час [3] таку інформацію здобувають шляхом проведення пожежної розвідки в процесі локалізації і гасіння конкретної пожежі, що призводить до суттєвого запізнення введення в дію потрібних сил і засобів угруповання пожежних підрозділів і спричинює збільшення людських і матеріальних втрат.

В той же час потрібну інформацію можна здобути своєчасно (ще до виникнення конкретної пожежі)

шляхом прогнозування можливого перебігу процесів у її ЗМУ<sub>хім.</sub>. Тому розробка і впровадження інформаційної технології щодо завчасного визначення і відображення можливих форми, геометричних розмірів, просторового розташування та інших основних параметрів ЗМУ<sub>хім.</sub> є ще невирішеною і дуже актуальною задачею.

## 1. Вирішення проблеми

### 1.1. Модель процесів масообміну між зоною горіння пожежі та навколишнім природним середовищем

Зону горіння будь-якої пожежі (рис. 1) утворюють «об'єднаний факел» полум'я – 1, який «опирається» на «запаси» горючих матеріалів (ГМ) – 2, і вказані «запаси». Отже зона горіння пожежі є об'ємною просторовою геометричною фігурою з висотою –  $H_{об.фак.}$ , і основою, форма, геометричні розміри і просторове розташування якої збігаються з відповідними параметрами горизонтальної проекції «запасів» ГМ. Вертикальна вісь симетрії цієї фігури проходить через геометричний центр горизонтальної проекції ЗГ.

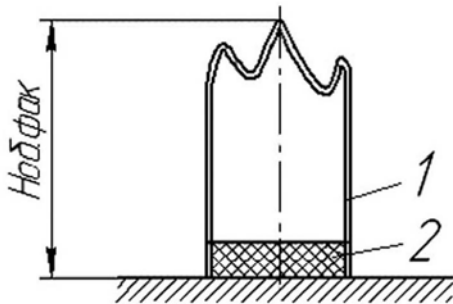


Рис. 1. Структура ЗГ пожежі:  
1 – «об'єднаний факел» полум'я;  
2 – «запаси» горючих матеріалів

«Об'єднаний факел» полум'я пожежі являє собою тонкостінну просторову об'ємну оболонку з розжарених мікрочастинок продуктів згорання. Кожна з вказаних мікрочастинок має «особисту» температуру –  $t_{особ.мікрочаст.}$ , величина якої приблизно дорівнює температурі «об'єднаного факелу» полум'я –  $t_{об.фак.}$  ( $t_{особ.мікрочаст.} \approx t_{об.фак.}$ ).

В свою чергу величина  $t_{особ.мікрочаст.}$  значно перевищує температуру навколишнього середовища –  $t_{НС}$ , ( $t_{особ.мікрочаст.} \gg t_{НС}$ ), внаслідок чого густина речовини «об'єднаного факелу» значно менша густини речовин навколишнього природного середовища згідно з виразом

$$\rho_{об.фак.} = \rho_{НС} \cdot [1 - \beta_{об.фак.} (t_{об.фак.} - t_{НС})], \quad (1)$$

де  $\rho_{об.фак.}$  – густина речовини (розжарених мікрочастинок) «об'єднаного факелу», кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{НС}$  – густина речовини (атмосферного повітря) навколишнього середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$$\beta_{об.фак.} \approx \frac{1}{t_{об.фак.}} \quad \text{– температурний коефіцієнт}$$

об'ємного розширення речовини (розжарених мікрочастинок) «об'єднаного факелу», 1/°С;

$t_{об.фак.}$  – температура речовини (розжарених мікрочастинок) «об'єднаного факелу» полум'я, °С;

$t_{НС}$  – температура речовини навколишнього середовища, °С.

Через те, що  $\rho_{об.фак.} \ll \rho_{НС}$ , виникає Архімедова підйомна сила, величина якої визначається співвідношенням

$$F_{Арх} = g [\rho_{НС} \cdot \beta_{об.фак.} \cdot (t_{об.фак.} - t_{НС})], \quad (2)$$

де  $F_{Арх}$  – Архімедова підйомна сила, кг·м/с<sup>2</sup>;

$$g = 9,81 \frac{М}{с^2} \quad \text{– прискорення вільного падіння};$$

$\rho_{НС}$  – густина речовини навколишнього середовища, кг/м<sup>3</sup>;

$\beta_{об.фак.}$  – температурний коефіцієнт розширення речовини «об'єднаного факелу», 1/°С;

$t_{об.фак.}$  – температура речовини «об'єднаного факелу» полум'я, °С;

$t_{НС}$  – температура речовини навколишнього природного середовища, °С.

Внаслідок впливу цієї підйомної сили кожна з мікрочастинок (які в даний момент часу входять до складу «об'єднаного факелу» полум'я) виходить з

нього і спрямовується догори у напрямку, перпендикулярному земній поверхні. Описане стає причиною утворення над «об'єднаним факелом» полум'я (вертикально спрямованого догори при відсутності вітру) потоку розігрітих мікрочастинок продуктів згоряння, тобто висхідної гілки «димових газів» пожежі. При цьому швидкість руху потоку «димових газів» поступово зменшується (через охолодження мікрочастинок) і стає рівною нулю при  $t_{\text{особ.мікрочаст}} \approx t_{\text{НС}}$ . Тому висхідна гілка «димових газів» являє собою просторову об'ємну геометричну фігуру з висотою  $-H_{\text{висх.зін}}$  і горизонтальним перетином, форма і геометричні розміри якого при відсутності вітру збігаються з такими ж параметрами горизонтальної проекції ЗГ пожежі.

Підтримання сталого горіння (а, отже, і відносної стабільності кількісного і якісного складу та основних параметрів «об'єданого факелу» полум'я) забезпечується безперервним надходженням до «об'єданого факелу» все нових і нових порцій хімічно однорідної горючої суміші – ХОГС від охопленої вогнем поверхні «запасів» ГМ.

Вказані порції ХОГС утворюються у підфакельному просторі «об'єданого факелу» полум'я пожежі з молекул пари горючого матеріалу і молекул насиченого киснем повітря оточуючого середовища. Внаслідок невпинного руху чергових порцій ХОГС до оболонки «об'єданого факелу» полум'я у підфакельному просторі утворюється «розрідження» (низький тиск). Вказане «розрідження» спричинює «підсмоктування» чистого (тобто насиченого киснем) атмосферного повітря з усіх (прилеглих до «об'єданого факелу» і висхідної гілки «димових газів») шарів повітря оточуючого середовища. Останнє призводить до утворення безлічі низхідних гілок повітря, які щільно прилягають одна до іншої (охоплюючи висхідну гілку і факел полум'я) та «заходять» до його підфакельного простору.

Одночасна наявність висхідної гілки «димових газів» (яка «виходить» з факела полум'я пожежі) та

безлічі прилягаючих одна до іншої низхідних гілок атмосферного повітря (які «заходять» до підфакельного простору цього факелу) з протилежними напрямками руху мікрочастинок неминуче призводить до об'єднання висхідної і низхідних гілок у єдиний замкнений газовий потік. Таке об'єднання реалізується шляхом розгалуження висхідної гілки на безліч прилягаючих одна до іншої низхідних гілок, які «гуртуються» у підфакельному просторі «об'єданого факелу» полум'я пожежі, утворюючи просторову об'ємну геометричну фігуру  $\text{ЗМУ}_{\text{хім.}}$ , вертикальна вісь симетрії якої збігається з вертикальною віссю симетрії зони горіння пожежі.

Саме єдиний замкнений газовий потік забезпечує реалізацію процесів масообміну між зоною горіння (ЗГ) пожежі і навколишнім природним середовищем (НПС):

– «димові гази» (тобто розігріті частинки диму і небезпечних хімічних речовин (НХР) продуктів повного і неповного згоряння) висхідної гілки  $\text{ЗМУ}_{\text{хім.}}$  надходять із ЗГ у НПС, утворюючи уражальні чинники пожежі: «термічне забруднення навколишнього середовища (НС)», «задимлення НС» і «хімічне забруднення НС» відповідно;

– свіже (насичене киснем) атмосферне повітря з НПС (за допомогою низхідних гілок) надходить до ЗГ пожежі, утворюючи уражальний чинник – «кисневе збіднення НС». Доречі, інтенсифікації впливу цього чинника в межах  $\text{ЗМУ}_{\text{хім.}}$  сприяють також «задимлення» і «хімічне забруднення» низхідних гілок  $\text{ЗМУ}_{\text{хім.}}$

Зазначені «кисневе збіднення», «задимлення» та «хімічне забруднення» низхідних гілок  $\text{ЗМУ}_{\text{хім.}}$  у щільно прилягаючих до ЗГ пожежі і висхідної гілки «димових газів» вертикальних шарах повітря навколишнього середовища робить повітря цих шарів непридатним до утворення у підфакельному просторі чергових порцій ХОГС, крім необхідних для підтримання сталого горіння. Вказане ініціює (в процесі розвитку пожежі) «підсмоктування» до під-

факельного простору чистого (насиченого киснем) атмосферного повітря із все більш віддалених від вертикальної осі симетрії ЗМУ<sub>хім.</sub> вертикальних шарів повітря навколишнього середовища. Описане обов'язково призводить до зростання геометричних розмірів горизонтального перетину ЗМУ<sub>хім.</sub>, форма якого (при відсутності вітру) впродовж всього терміну тривалості пожежі збігається з формою горизонтальної проекції її зони горіння.

На рис. 2 відображено вертикальний перетин ЗМУ<sub>хім.</sub>. Згідно з рис. 2 висоту просторової об'ємної геометричної фігури ЗМУ<sub>хім.</sub> рекомендується визначати за формулою

$$H_{ЗМУ_{хім}} = H_{об.фак.} + H_{висх.гіл.}, \quad (3)$$

де  $H_{ЗМУ_{хім}}$  – висота зони можливого ураження пожежі внаслідок впливу «задимлення НС» і «хімічного забруднення НС», м;

$H_{об.фак.}$  – висота «об'єднаного факелу» полум'я пожежі, м;

$H_{висх.гіл.}$  – висота висхідної гілки «димових газів», м.

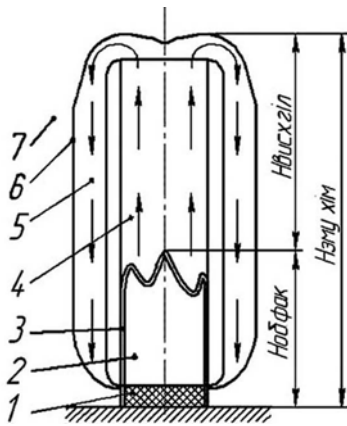


Рис. 2. Структура ЗМУ<sub>хім.</sub>:

- 1 – «запаси» ГМ;
- 2 – підфакельний простір;
- 3 – «об'єднаний факел» полум'я;
- 4 – висхідна гілка «димових газів»;
- 5 – низхідні гілки ЗМУ<sub>хім.</sub>;
- 6 – зовнішні межі ЗМУ<sub>хім.</sub>;
- 7 – атмосферне повітря оточуючого середовища

Висота «об'єднаного факелу» полум'я впродовж фази пожежі «стале горіння» залишається

практично незмінною. Рекомендації щодо визначення можливих значень величин  $H_{об.фак.}$  конкретних видів пожеж наведені у роботі [4].

В свою чергу, величину  $H_{висх.гіл.}$  рекомендується визначати з урахуванням такої інформації. Згідно з положеннями теорії теплопередачі [5] такі основні складові ЗМУ<sub>хім.</sub>, як підфакельний простір «об'єднаного факелу» полум'я пожежі та окремі ділянки висхідної гілки «димових газів», можна вважати схожими між собою системами, бо вони характеризуються:

- схожістю фізичних явищ (і у підфакельному просторі і на окремих ділянках висхідної гілки відбувається спрямований рух розігрітих мікрочастинок);

- геометричною схожістю обмежених ділянок простору, де відбувається зазначений рух;

- схожістю всіх однорідних величин (наприклад, величин вертикальної складової швидкості руху розігрітих мікрочастинок –  $\omega$ , густини –  $\rho$ , коефіцієнта кінематичної в'язкості середовища –  $\nu$  та ін.) досліджуваного фізичного явища у відповідних точках простору при відповідних перепадах температур середовища –  $\Delta t$ .

За цими ознаками схожими між собою є:

- система 1 – ділянка підфакельного простору (де відбувається спрямований рух розігрітих мікрочастинок ХОГС від поверхні «запасів» ГМ до тонкостінної оболонки «об'єднаного факелу» полум'я пожежі) з довжиною шляху руху –  $l_1 = H_{об.фак.}$ , з перепадом температури мікрочастинок –  $\Delta t_1$  від температури випаровування горючого матеріалу –  $t_{вип.ГМ}$  до температури «об'єднаного факелу» полум'я –  $t_{об.фак.}$  ( $\Delta t_1 = t_{вип.ГМ} - t_{об.фак.}$ ) та із змінням величини коефіцієнта кінематичної в'язкості –  $\nu_1$  (залежно від температури середовища) від значення  $\nu_1 = \nu_{вип.ГМ}$  до значення  $\nu_1 = \nu_{об.фак.}$ ;

- система 2 – нижня ділянка висхідної гілки ЗМУ<sub>хім.</sub> (де відбувається спрямований рух розігрітих мікрочастинок «димових газів» від тонкостінної

оболонки «об'єднаного факелу» полум'я до перетину висхідної гілки, в якому температура розігрітих мікрочастинок знижується до значення  $-t_{вин.ГМ}$  з довжиною шляху руху  $-l_2$ , з перепадом температури мікрочастинок  $-\Delta t_2 = (t_{об.фак} - t_{вин.ГМ})$ , та із зміною величини коефіцієнта кінематичної в'язкості  $-v_2$ , від значення  $v_2 = v_{об.фак}$  до значення  $v_2 = v_{вин.ГМ}$ :

– система 3 – верхня ділянка висхідної гілки ЗМУ<sub>хім.</sub> (де відбувається спрямований рух розігрітих мікрочастинок «димових газів» від зазначеного перетину висхідної гілки до її вершини) з довжиною шляху руху  $-l_3$ , з перепадом температури мікрочастинок  $-\Delta t_3$ , від температури випаровування горючого матеріалу  $-t_{винГМ}$  до температури навколишнього середовища  $-t_{НС}$  ( $\Delta t_3 = t_{винГМ} - t_{НС}$ ) та із зміною величини коефіцієнта кінематичної в'язкості середовища  $-v_3$ , від значення  $v_3 = v_{вин.ГМ}$  до значення  $v_3 = v_{НС}$ . При цьому  $H_{висх.зіл} = l_2 + l_3$ .

Основною властивістю схожих між собою систем є існування особливих безрозмірних величин (критеріїв схожості), які для всіх схожих систем зберігають однакове числове значення (*idem*). Так, наприклад, внаслідок гідромеханічної схожості підфакельного простору (система 1), нижньої ділянки висхідної гілки (система 2) і верхньої ділянки висхідної гілки (система 3) однакове значення (у відповідних точках цих систем) мають:

– критерій гомохронності

$$(H_0 = \frac{\omega_1 \cdot \tau_1}{l_1} = \frac{\omega_2 \cdot \tau_2}{l_2} = \frac{\omega_3 \cdot \tau_3}{l_3} = idem);$$

– критерій Фруда

$$(Fr = \frac{g_1 \cdot l_1}{\omega_1^2} = \frac{g_2 \cdot l_2}{\omega_2^2} = \frac{g_3 \cdot l_3}{\omega_3^2} = idem);$$

– критерій Ейлера

$$(Eu = \frac{p_1 \cdot \rho_1}{\omega_1} = \frac{p_2 \cdot \rho_2}{\omega_2} = \frac{p_3 \cdot \rho_3}{\omega_3} = idem);$$

– критерій Рейнолдса

$$Re = \frac{\rho_1 \cdot \omega_1 \cdot l_1}{\mu_1} = \frac{\rho_2 \cdot \omega_2 \cdot l_2}{\mu_2} = \frac{\rho_3 \cdot \omega_3 \cdot l_3}{\mu_3} = idem;$$

– критерій Галілея

$$(Ga = \frac{g_1 \cdot l_1^3}{v_1^2} = \frac{g_2 \cdot l_2^3}{v_2^2} = \frac{g_3 \cdot l_3^3}{v_3^2} = idem);$$

– критерій Архімеда

$$Ar = \frac{g_1 \cdot l_1^3}{v_1^2} \left[ \frac{\rho_1 - \rho_{НС}}{\rho_1} \right] = \frac{g_2 \cdot l_2^3}{v_2^2} \left[ \frac{\rho_2 - \rho_{НС}}{\rho_2} \right] = \frac{g_3 \cdot l_3^3}{v_3^2} \left[ \frac{\rho_3 - \rho_{НС}}{\rho_3} \right] = idem;$$

– критерій Грасгофа

$$Cr = \frac{\beta_1 \cdot g_1 \cdot l_1^3}{v_1^2} = \frac{\beta_2 \cdot g_2 \cdot l_2^3}{v_2^2} = \frac{\beta_3 \cdot g_3 \cdot l_3^3}{v_3^2} = idem \quad \text{та}$$

інші,

де  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  – величини вертикальної складової швидкостей руху розігрітих мікрочастинок у першій, другій і третій схожих системах відповідно, м/с;

$\tau_1, \tau_2, \tau_3$  – величини проміжків часу, за який розігріті мікрочастинок «проходять» відстані довжиною  $l_1, l_2, l_3$  у першій, другій і третій схожих системах, с;

$l_1, l_2, l_3$  – довжини відстаней (руху розігрітих мікрочастинок) до відповідних точок у першій, другій і третій схожих системах, м;

$g_1, g_2, g_3$  – величини прискорення вільного падіння у відповідних точках першої, другої і третьої схожих між собою систем, м/с<sup>2</sup> (оскільки система 1, система 2 і система 3 «розташовані» в атмосфері, то

$$g_1 = g_2 = g_3 = 9,81 \frac{M}{c^2});$$

$p_1, p_2, p_3$  – величини тиску у відповідних точках першої, другої і третьої схожих систем, Па;

$\rho_1, \rho_2, \rho_3$  – величини густини речовин у відповідних точках першої, другої і третьої схожих систем, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu_1, \mu_2, \mu_3$  – величини в'язкості (середовища) у відповідних точках першої, другої і третьої схожих між собою систем, Нс/м<sup>2</sup>;

$v_1, v_2, v_3$  – величини коефіцієнтів кінематичної в'язкості середовища у відповідних точках першої,

другої і третьої схожих між собою систем,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$  – величини коефіцієнтів об'ємного розширення речовин у відповідних точках першої, другої і третьої схожих між собою систем,  $1/^\circ\text{C}$ ;

$\Delta t_1, \Delta t_2$  і  $\Delta t_3$  – величини перепадів температури розігрітих мікрочастинок на шляху їх руху між точками початку відліку і відповідними точками у першій, другій і третій схожих між собою системах,  $^\circ\text{C}$ .

Значення величин  $l_2$ , і  $l_3$ , (а отже і значення величини  $H_{\text{висх.гїл}}$ ) можна розрахувати за відомим значенням висоти «об'єднаного факелу» полум'я  $H_{\text{об.фак}} = l_1$ , з використанням одного з критеріїв схожості, наприклад, критерія Галілея (Ga) за формулами:

$$l_2 = l_1 \left( \frac{g_1 \cdot v_2^2}{g_2 \cdot v_1^2} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (4)$$

$$l_3 = l_2 \left( \frac{g_2 \cdot v_3^2}{g_3 \cdot v_2^2} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (5)$$

При цьому слід відзначити, що точки початку відліку у системі 1 і системі 2 «розташовані» на вершині «об'єднаного факелу» полум'я, а відповідними точками цих систем є точки з однаковими перепадами температури розігрітих мікрочастинок ХОГС –  $\Delta t_1$ , і температури розігрітих мікрочастинок «димових газів» –  $\Delta t_2$ .

Для кожної з цих відповідних точок виконується співвідношення  $v_2 = v_1$ , а також  $g_2 = g_1 = 9,81 \text{ м/с}^2$  (бо обидві схожі системи «розташовані» в межах атмосфери Землі). Тому згідно з формулою (4)  $l_2 = l_1 = H_{\text{об.фак}}$ .

На відміну від цього точки початку відліку у системі 2 «розташовані» на вершині «об'єднаного факелу» полум'я, а точки початку відліку у системі 3 «розташовані» у перетині висхідної гілки, де температура «димових газів» дорівнює величині температури випаровування горючого матеріалу –  $t_{\text{вип.ГМ}}$ . Відповідними точками у цих системах є точки, розташовані в перетині висхідної гілки (де температура розігрітих мікрочастинок має значення  $t_{\text{вип.ГМ}}$ ) і точ-

ки, розташовані у вершині висхідної гілки. При цьому в системі 2 величина  $v_2$ , може змінюватись в межах від значення  $v_2 = v_{\text{об.фак}}$  до значення  $v_2 = v_{\text{вип.ГМ}}$ . В той же час в системі 3 величина  $v_3$ , може змінюватись в межах від значення  $v_3 = v_{\text{вип.ГМ}}$  до значення  $v_3 = v_{\text{НС}}$ . Отже у відповідних точках цих систем  $v_2 \neq v_3$ , а тому формула (5) трансформується до вигляду

$$l_3 = H_{\text{об.фак}} \cdot \left( \frac{v_{\text{НС}}}{v_{\text{вип.ГМ}}} \right)^{\frac{2}{3}}, \quad (6)$$

де  $l_3$  – довжина шляху руху розігрітих мікрочастинок «димових газів» у верхній ділянці висхідної гілки ЗМУ<sub>хім.</sub>, м;

$H_{\text{об.фак}}$  – висота «об'єднаного факелу» полум'я пожежі, м;

$v_{\text{НС}}$  – величина коефіцієнта кінематичної в'язкості середовища «димових газів» у вершині висхідної гілки (при особистій температурі мікрочастинок «димових газів» –  $t_{\text{особ.мікрочаст}}$ , яка дорівнює температурі НПС –  $t_{\text{НС}}$ ),  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$v_{\text{вип.ГМ}}$  – величина коефіцієнта кінематичної в'язкості середовища «димових газів» у перетині висхідної гілки, де особиста температура мікрочастинок «димових газів» –  $t_{\text{особ.мікрочаст}} = t_{\text{вип.ГМ}}$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

З урахуванням викладеного можливі значення висоти висхідної гілки «димових газів» –  $H_{\text{висх.гїл}}$ , і висоти зони можливого ураження –  $H_{\text{ЗМУхім}}$ , рекомендується визначати з використанням формул:

$$H_{\text{висх.гїл}} = H_{\text{об.фак}} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{v_{\text{НС}}}{v_{\text{вип.ГМ}}} \right)^{\frac{2}{3}} \right], \quad (7)$$

$$H_{\text{ЗМУхім}} = H_{\text{об.фак}} \cdot \left[ 2 + \left( \frac{v_{\text{НС}}}{v_{\text{вип.ГМ}}} \right)^{\frac{2}{3}} \right]. \quad (8)$$

Як показано вище, зона можливого ураження пожежі внаслідок впливу «зادимлення НС», «хімічного забруднення НС», «термічного забруднення НС» і «кисневого збіднення НС» (тобто ЗМУ<sub>хім.</sub>) являє собою просторову об'ємну геометричну фігу-

ру, яка «охоплює» просторову об'ємну фігуру зони горіння досліджуваної пожежі, і (при відсутності вітру) має спільну із ЗГ вертикальну вісь симетрії. Висота ЗМУ<sub>хім.</sub> (через відносну стабільність величини  $H_{об.фак}$ ) впродовж фаз пожежі «стале горіння» і «затухання» залишається майже незмінною ( $H_{ЗМУ_{хім}} \approx const$ ).

На відміну від цього «підсмоктування» свіжого (насиченого киснем) повітря все з нових і нових шарів НС та заповнення їх «димовими газами» призводить до невпинного «розширення» ЗМУ<sub>хім.</sub> на протязі тривалості пожежі.

При цьому форма і лінійні розміри горизонтальної проекції зовнішньої межі ЗМУ<sub>хім.</sub> конкретної пожежі «повторюють» (з урахуванням коефіцієнта масштабу «розширення» ЗМУ<sub>хім.</sub> –  $K_{масш}$ ) відповідні параметри зовнішньої межі горизонтальної проекції зони горіння цієї пожежі.

Відповідно до інформації рис. 2 величину  $K_{масш}$  рекомендується визначати з використанням співвідношення

$$K_{масш} = \frac{W_{ЗМУ_{хім}}}{H_{ЗМУ_{хім}} \cdot S_{ЗГ_{гориз.пр.}}}, \quad (9)$$

де  $K_{масш}$  – величина коефіцієнта масштабу «розширення» ЗМУ<sub>хім.</sub>;

$W_{ЗМУ_{хім}}$  – об'єм ЗМУ<sub>хім.</sub> пожежі, м<sup>3</sup>;

$H_{ЗМУ_{хім}}$  – висота ЗМУ<sub>хім.</sub> пожежі, м;

$S_{ЗГ_{гориз.пр.}}$  – площа горизонтальної проекції зони горіння пожежі, м<sup>2</sup>.

Припускаючи, що величина об'єму зони можливого ураження продуктами згорання конкретної пожежі дорівнює величині об'єму «чистого» (насиченого киснем) атмосферного повітря НС, яке витрачається у процесі згорання «запасів» ГМ впродовж цієї пожежі, рекомендується визначати можливу величину  $W_{ЗМУ_{хім}}$ , з використанням формул:

$$W_{ЗМУ_{хім.конкр}} = m_{ГМ_{конкр}} \cdot W_{пов(1кг)ГМ_{конкр}} \quad (10)$$

або

$$W_{ЗМУ_{хім.конкр}} = \Sigma(q_{тепл.нав.конкр.i} \cdot S_{гор.ел.конкр.i} \cdot W_{пов(1кг)ГМ_{конкр.i}}) \quad (11)$$

де  $W_{ЗМУ_{хім.конкр}}$  – об'єм ЗМУ<sub>хім.</sub> конкретної пожежі, м<sup>3</sup>;

$m_{ГМ_{конкр}}$  – маса «запасів» горючого матеріалу у зоні горіння конкретної пожежі, кг;

$W_{пов(1кг)ГМ_{конкр}}$  – величина обсягу «чистого» атмосферного повітря, необхідного для забезпечення ефективного згорання 1кг конкретного горючого матеріалу, м<sup>3</sup>/кг;

$q_{тепл.нав.конкр.i}$  – величина «теплого навантаження» і- того будівельного елемента конкретної будівлі (споруди), де може виникнути пожежа, кг/м<sup>2</sup>;

$S_{гор.ел.конкр.i}$  – величина можливої площі горіння і-го будівельного елемента конкретної будівлі (споруди), де може виникнути пожежа, м<sup>2</sup>.

Визначені описаним способом форму, геометричні розміри і просторове розташування зовнішніх меж горизонтальних проекцій ЗМУ<sub>хім.</sub> ймовірних пожеж відображають на Плані досліджуваного пожежонебезпечного об'єкта «Картки очікуваної пожежної обстановки...» у порядку, який ілюструється рис. 3, 4, 5.

На рис. 3 відображені аксонометричні проекції різних видів пожеж: пожежі на будівлі (рис. 3, а), пожежі розлитої у «калюжу» на підстеляючу поверхню горючої рідини (рис. 3, б) і пожежі на розгерметизованому газопроводі (рис. 3, с).

На рис. 4 відображені за допомогою тактичних знаків горизонтальні проекції центрів займання (ЦЗ) і зон горіння (ЗГ) вказаних пожеж. Тактичний знак «ЦЗ» відображають у вигляді круга червоного кольору діаметром 5мм (позиція – 1 на рис. 4, а, б, с і рис. 5, а, б, с). Його рекомендується відображати у геометричному центрі горизонтальних проекцій ЗГ ймовірних пожеж. Тактичний знак «ЗГ» являє собою замкнену штрихову лінію червоного кольору,

яка «охоплює» горизонтальну проекцію «ділянок розташування у просторі» розгерметизованих «запасів» горючих матеріалів в зонах горіння ймовірних пожеж. Внутрішнє поле цієї замкненої лінії заштриховують нахиленими паралельними прямими червоного кольору. Форма, геометричні лінійні розміри і просторове розташування тактичних знаків «ЗГ» (позиція – 2 на рис. 4, а, б, с і рис. 5, а, б, с) повністю збігаються з такими ж параметрами горизонтальних проекцій ділянок розташування «запасів» ГМ у зонах горіння ймовірних пожеж:

– у разі пожежі в будівлі (рис. 4, а і рис. 5, а) – це прямокутник із сторонами  $D_{буд}$  (довжина будівлі) і  $Ш_{буд}$  (ширина будівлі);

– у разі пожежі розлитої у «калюжу» на підстеляючу поверхню горючої рідини (рис. 4, б і рис. 5, б) – це круг з діаметром «калюжі» –  $d_{кал}$ ;

– у разі пожежі на розгерметизованому газопроводі (рис. 4, с і рис. 5, с) – це круг з діаметром  $d_{осн} = 5d_{пр}$ , (де  $d_{пр}$  – діаметр розгерметизованого трубопроводу).

Горизонтальні проекції зовнішніх меж ЗМУ<sub>хім.</sub> цих пожеж відображають за допомогою тактичних знаків «ЗМУ<sub>хім.</sub>» (позиції – 3 на рис. 5, а, б, с) у вигляді замкненої лінії синього кольору, у розриві якої чорним кольором виконують пояснювальний напис «Дим». Форма цих тактичних знаків співпадає з формою горизонтальних проекцій ЗГ відповідних видів пожеж, а їх лінійні розміри збільшені у  $K_{маси}$  раз у порівнянні з розмірами горизонтальних проекцій ЗГ вказаних пожеж. При цьому для кожної з таких пожеж зовнішню межу горизонтальної проекції її ЗМУ<sub>хім.</sub> відображають на Плані досліджуваного пожежонебезпечного об'єкта за допомогою радіуса - вектора (з центром у місці відображення тактичного знака «ЦЗ»)  $R_{ЗМУ_{хім.гориз.пр}} = f(\theta)$  змінням значення величини азимутального кута  $\theta$  в межах від  $\theta = 0^\circ$  до  $\theta = 360^\circ$ . При цьому (згідно з положеннями теорії подібності) модуль величини  $|R_{ЗМУ_{хім.гориз.пр}}(\theta)|$  визначають з використанням співвідношення

$$|R_{ЗМУ_{хім.гориз.пр}}(\theta)| = K_{маси} |R_{ЗГ_{гориз.пр}}(\theta)|, \quad (12)$$

де  $|R_{ЗМУ_{хім.гориз.пр}}(\theta)|$  – модуль радіуса-вектора, який відображає зовнішню межу горизонтальної проекції ЗМУ<sub>хім.</sub> ймовірної пожежі, м;

$K_{маси}$  – величина коефіцієнта масштабу «розширення» ЗМУ<sub>хім.</sub>;

$|R_{ЗГ_{гориз.пр}}(\theta)|$  – модуль радіуса – вектора, який відображає зовнішню межу горизонтальної проекції зони горіння ймовірної пожежі, м.

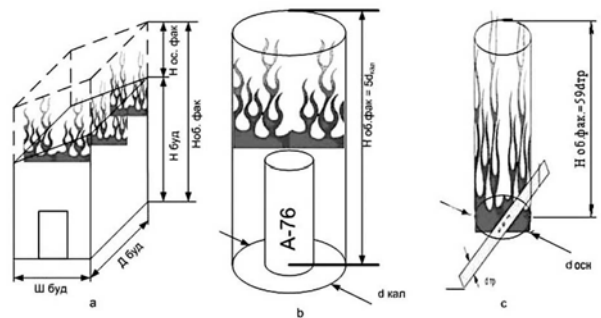


Рис. 3. Види пожеж:

- а – пожежа у будівлі;
- б – пожежа з горінням горючої рідини, розлитої у «калюжу» на горизонтальну підстеляючу поверхню;
- с – пожежа у разі несанкціонованої розгерметизації газопроводу

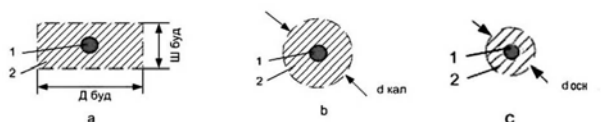


Рис. 4. Відображення зон горіння пожеж

- 1 – «ЦЗ»;
- 2 – «ЗГ»;
- а – пожежа у будівлі;
- б – пожежа горючої рідини, розлитої у «калюжу» на горизонтальну підстеляючу поверхню;
- с – пожежа у разі розгерметизації газопроводу

Наочне відображення можливих форми, геометричних розмірів і просторового розташування зовнішньої межі горизонтальної проекції ЗМУ<sub>хім.</sub> ймовірної пожежі дозволяє спрогнозувати можливу величину загальних (Мзаг.хім) і санітарних (Мсан.хім.) втрат людей внаслідок впливу «терміч-



ного забруднення НС», «задимлення НС», «хімічного забруднення НС» і «кисневого збіднення НС».

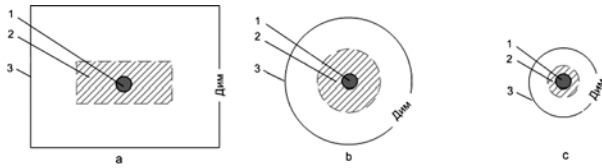


Рис. 5. Відображення ЗМУ<sub>хім.</sub> пожеж:

- 1 – «ЦЗ»;
- 2 – «ЗГ»;
- 3 – «ЗМУ<sub>хім.</sub>»;
- а – пожежа у будівлі;
- б – пожежа горючої рідини, розлитої у «калюжу» на горизонтальну підстеляючу поверхню;
- с – пожежа у разі розгерметизації газопроводу

При цьому до загальних втрат (тобто людей, які можуть загинути або отримати різноманітні ураження внаслідок впливу зазначених УЧП) відносять кількість осіб виробничого персоналу найбільшої працюючої зміни –  $N_{НПЗ\ ЗМУ_{хім}}$  (або кількість населення –  $N_{нас\ ЗМУ_{хім}}$ ), робочі місця (або місця перебування) яких за прогнозом «потрапляють» в межі горизонтальної проекції ЗМУ<sub>хім.</sub>

$$M_{заг.хім} = N_{НПЗ\ ЗМУ_{хім}} \text{ (або } N_{нас\ ЗМУ_{хім}} \text{)}, \quad (13)$$

де  $M_{заг.хім}$  – можлива величина загальних втрат людей у ЗМУ<sub>хім.</sub> осіб;

$N_{НПЗ\ ЗМУ_{хім}}$  – кількість виробничого персоналу найбільшої працюючої зміни, робочі місця яких за прогнозами опиняються в межах ЗМУ<sub>хім.</sub> осіб;

$N_{нас\ ЗМУ_{хім}}$  – кількість населення, місця перебування якого за прогнозом опиняються в межах ЗМУ<sub>хім.</sub> осіб.

В свою чергу можливу величину  $M_{сан.хім.}$  (тобто кількість людей, які внаслідок впливу вказаних УЧП можуть отримати різноманітні ураження) рекомендується [6] визначати з використанням співвідношення

$$M_{сан.хім.} = 0,65 \cdot M_{заг.хім} \quad (14)$$

де  $M_{сан.хім.}$  – можлива величина санітарних втрат в ЗМУ<sub>хім.</sub> осіб;

$M_{заг.хім}$  – можлива величина загальних втрат в ЗМУ<sub>хім.</sub> осіб.

## 1.2. Розробка інформаційної технології

Викладене у розділі 1.1 дозволяє встановити такі основні закономірності.

1. Серед основних уражальних чинників пожежі (УЧП) чи не найбільшої шкоди життю і здоров'ю людини завдають «термічне забруднення НС», «задимлення НС», «хімічне забруднення НС» і «кисневе збіднення НС».

2. Джерелом цих УЧП є єдиний замкнений газовий потік, який складається:

- з «розігрітих» мікрочастинок горючих газів (пари рідких або твердих горючих речовин і матеріалів) і мікрочастинок атмосферного повітря, які змішуючись одна з іншою утворюють множину  $\{M_1\}$  «розігрітих» мікрочастинок ХОГС та переміщуються у підфакельному просторі (під впливом архімедової підйомної сили) до «об'єднаного факелу» полум'я пожежі, змінюючи свою особисту температуру –  $t_{особ.мікрочаст.}$  в межах від  $t_{вип.ГМ\ конкр.}$  до  $t_{об.фак.ГМ\ конкр.}$ ;

- з множини  $\{M_2\}$  «розігрітих» мікрочастинок «об'єднаного факелу» полум'я (де утворюються мікрочастинки «димових газів», тобто продуктів повного і неповного згоряння), особиста температура яких –  $t_{особ.мікрочаст.}$  має значення  $t_{об.фак.ГМ\ конкр.}$  ( $1 \pm 10^{-2}$ ), °С;

- з множини  $\{M_3\}$  «розігрітих» мікрочастинок висхідної гілки «димових газів» (що змінюють особисту температуру  $t_{особ.мікрочаст.}$  від значення  $t_{об.фак.}$  до значення  $t_{НС}$ ), яка «виходить» з «об'єднаного факелу» полум'я і, розгалужуючись здійснює термічне і хімічне забруднення та задимлення низхідних гілок єдиного замкненого газового потоку;

- з множини  $\{M_4\}$  мікрочастинок низхідних гілок єдиного замкненого газового потоку, яка складається з мікрочастинок атмосферного повітря, забрудненого мікрочастинками «димових газів».

3. Процеси теплообміну за рахунок конвекції і теплопровідності між ЗГ пожежі та НС (тобто між «розігрітими» мікрочастинками множин  $\{M_1\}$ ,  $\{M_2\}$  і  $\{M_3\}$  та «омиваючими» підфакельний простір, «об'єднаний факел» полум'я пожежі і висхідну гілку «димових газів» мікрочастинками множини  $\{M_4\}$  низхідних гілок), а також за рахунок надходження із ЗГ в НС розігрітих «димових газів» є джерелом первинного уражального чинника пожежі – «термічне забруднення НС».

4. Процеси масообміну між ЗГ пожежі і НС (тобто процеси забруднення низхідних гілок мікрочастинками множини  $\{M_3\}$  продуктів повного і неповного згоряння) є джерелом первинних УЧП – «зادимлення НС» і «хімічне забруднення НС».

5. Процеси масообміну між НС і ЗГ пожежі (тобто «підсмоктування» чистого насиченого киснем повітря з «чергових» низхідних гілок єдиного замкненого газового потоку до підфакельного простору ЗГ) є джерелом первинного УЧП – «кисневе збіднення НС».

6. Через наявність єдиного замкненого газового потоку зони впливу кожного із зазначених первинних УЧП пожежі співпадають між собою та утворюють спільну зону можливого ураження – ЗМУ<sub>хім.</sub>.

7. Зовнішня межа ЗМУ<sub>хім.</sub> ймовірної пожежі являє собою просторову об'ємну геометричну фігуру, яка «охоплює» просторову зону горіння цієї пожежі і має спільну із ЗГ вертикальну вісь симетрії.

8. Впродовж другої і третьої фаз розвитку пожежі висота її зони можливого ураження внаслідок впливу задимлення і хімічного забруднення –  $H_{ЗМУ_{хім}}$  (при відсутності вітру і нехтуванні процесами дифузії) залишається практично незмінною ( $H_{ЗМУ_{хім}} \approx const$ ) і визначається за виразом (8), тобто залежить від виду і назви конкретного горючого матеріалу, величин його основних теплофізичних параметрів, просторового розташування розгерметизованих «запасів» ГМ, а також від температури навколишнього середовища.

9. На відміну від цього горизонтальний перетин ЗМУ<sub>хім.</sub> невинно «розширюється» впродовж тривалості пожежі. При цьому форма горизонтальної проекції ЗМУ<sub>хім.</sub> на протязі тривалості конкретної пожежі «повторює» форму горизонтальної проекції її ЗГ. За той же термін лінійні розміри горизонтальної проекції ЗМУ<sub>хім.</sub> збільшуються (у порівнянні з лінійними розмірами ЗГ пожежі) у  $K_{маси}$  разів, величину якого рекомендується визначати з використанням формул (9) і (10) або формул (9) і (11). Тому форму, геометричні розміри і просторове розташування горизонтальної проекції зовнішньої межі ЗМУ<sub>хім.</sub> рекомендується визначати з використанням співвідношення (12). Зовнішню межу горизонтальної проекції ЗМУ<sub>хім.</sub> відображають на плані території досліджуваного пожежонебезпечного об'єкта (ДПНО) за допомогою тактичного знака «ЗМУ<sub>хім.</sub>» у вигляді замкненої лінії синього кольору, у розриві якої чорним кольором виконують пояснювальний напис «Дим».

10. За даними робіт [3, 7, 8] температура забрудненого повітря всередині ЗМУ<sub>хім.</sub> перевищує 45°C, вміст кисню в ньому менше ніж 18%, вміст вуглекислого газу більше ніж 1,5%, величина концентрації чадного газу перевищує 10 мг/м<sup>3</sup>, а величина коефіцієнта задимлення становить 150 част/м<sup>3</sup> і більше. За таких умов люди, які не встигнуть за 5 – 10 хвилин евакуюватися за межі ЗМУ<sub>хім.</sub> отримають тяжке ураження і можуть, навіть, загинути. Тому можливу величину загальних ( $M_{заг}$ ) і санітарних ( $M_{сан}$ ) втрат людей рекомендується визначати з використанням формул (13) і (14).

Враховуючи викладене, розроблювана інформаційна технологія – ІТ<sub>II</sub> щодо визначення і відображення основних параметрів зони можливого ураження внаслідок впливу забруднення продуктами згоряння передбачає завчасне створення «Характеристики досліджуваного пожежонебезпечного об'єкта – ХДО», а також електронних копій «Карток очікуваної пожежної обстановки...» – ЕК «Карт-

ки...» і електронних копій документа «Прогнозовані параметри зони можливого ураження внаслідок впливу забруднення продуктами згоряння» – ЕК «ПП ЗМУ<sub>хім</sub>» (за числом будівель, споруд, технологічних систем і т.ін., розташованих на території досліджуваного ПНО) та почергове виконання операцій інформаційних моделей (ІМ<sub>П1</sub>, ІМ<sub>П2</sub>, ІМ<sub>П3</sub>, ІМ<sub>П4</sub>, ІМ<sub>П5</sub>) згідно з алгоритмом, відображеним на рис. 6.

«Характеристика досліджуваного пожежонебезпечного об'єкта – ХДО» складається за результатами обстеження і вимірювання кожного із фактично існуючих (після проведення останньої реконструкції, ремонту, добудови і т.ін.) будівельно-конструктивних елементів кожної з будівель (споруд, технологічних систем та ін.), розташованих на території цього ПНО. Вона повинна містити опис основних відомостей щодо форми, геометричних розмірів і просторового розташування кожного з таких елементів з вмістом «запасів» ГМ, виду, агрегатного стану, маси (теплого навантаження) та інших теплофізичних характеристик вказаних ГМ, а також необхідні таблиці і довідкові матеріали.

Кожна з електронних копій «Картки очікуваної пожежної обстановки...» (ЕК «Картки...») являє собою:

– електронний варіант заголовку бланка – «Картка очікуваної пожежної обстановки, що може виникнути на території (повна назва об'єкта) у результаті пожежі на (номер і назва елемента ДПНО)»;

– розміщений на тому ж бланку (під вказаним заголовком) електронний варіант Плану досліджуваного ПНО;

– прив'язану до зазначеного Плану електронну «координатну мережу» (з метою подальшого використання цієї «мережі» для визначення координат кожної з конкретних будівель (споруд і т.ін.) ДПНО, а також відображення на Плані відповідних тактичних знаків і пояснювальних написів).

Кожна з електронних копій документа «Прогнозовані параметри зони можливого ураження внаслідок

впливу забруднення продуктами згоряння» (ЕК «ПП ЗМУ<sub>хім</sub>») являє собою:

– електронний варіант заголовку документа «Прогнозовані параметри зони можливого ураження внаслідок впливу забруднення продуктами згоряння ймовірної пожежі на (номер і назва елемента ДПНО);

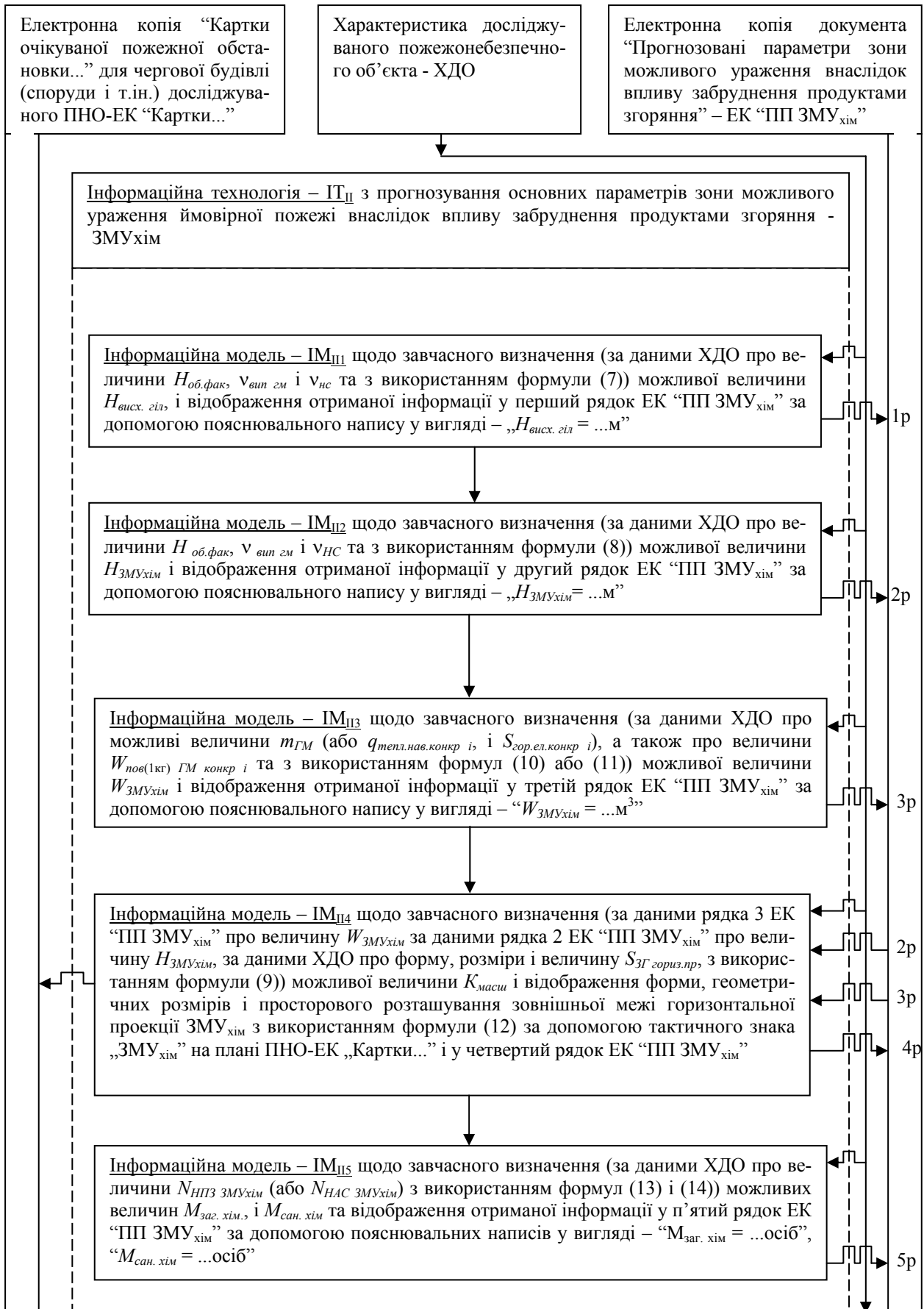
– розміщений на тому ж бланку (під вказаним заголовком) електронний варіант тестової таблиці документа, виконаної за формою, наведеною в табл. 1.

Таблиця 1

Прогнозовані параметри ЗМУ<sub>хім</sub>

Номери рядків	Тестові завдання	Результати тестування
1.	Визначення можливої величини висоти висхідної гілки «димових газів» – $H_{вух.зіл}$	« $H_{вух.зіл} = \dots \text{ м}$ »
2.	Визначення можливої величини висоти зони можливого ураження внаслідок забруднення продуктами згоряння – $H_{ЗМУхім}$	« $H_{ЗМУхім} = \dots \text{ м}$ »
3.	Визначення можливого об'єму ЗМУ <sub>хім</sub> – $W_{ЗМУхім}$	« $W_{ЗМУхім} = \dots \text{ м}^3$ »
4.	Визначення і відображення форми, геометричних розмірів і просторового розташування зовнішньої межі горизонтальної проекції ЗМУ <sub>хім</sub>	«Форма ЗМУ <sub>хім</sub> - ...» «Розміри ЗМУ <sub>хім</sub> = ... м»
5.	Визначення можливих величин загальних і санітарних втрат людей у ЗМУ <sub>хім</sub>	« $M_{заг.хім} = \dots \text{ осіб}$ » « $M_{сан.хім} = \dots \text{ осіб}$ »

Роздруківки ЕК «Картки...» і ЕК «ПП ЗМУ<sub>хім</sub>» стають основою для створення «Оперативного плану гасіння пожежі» у разі її виникнення на конкретній будівлі (споруді і т.ін.) ДПНО, який є основним документом керівника гасіння пожежі (КГП) з організації бойових дій підпорядкованих йому сил і засобів угруповання пожежних підрозділів.

Рис. 6. Алгоритм реалізації інформаційної технології ІТ<sub>П</sub>

### Прикінцеві положення

Інформаційна технологія ІТ<sub>Ц</sub>, розроблена на основі запропонованої автором моделі процесів масообміну між зоною горіння пожежі та навколишнім природним середовищем, дозволяє завчасно визначити значення основних параметрів зони можливого ураження цієї пожежі внаслідок забруднення НС продуктами згоряння – ЗМУ<sub>хім</sub>.

Зокрема, здобута таким способом інформація щодо значення величин  $H_{ЗМУ_{хім}}$ ,  $W_{ЗМУ_{хім}}$  та ін. дозволяє спрогнозувати і наочно відобразити на Плані території ПНО форму, геометричні розміри і просторове розташування горизонтальної проекції зовнішньої межі ЗМУ<sub>хім</sub>. Вказане дозволяє завчасно визначити можливі величини загальних ( $M_{заг.хім}$ ) і санітарних ( $M_{сан.хім}$ ) втрат виробничого персоналу (населення) і на основі такої інформації провести розрахунок:

- кількості рятівників –  $N_{рят}$ , (потрібної для забезпечення ефективного пошуку уражених, видалення їх за межі ЗМУ<sub>хім</sub>, і надання ураженим негайної медичної допомоги (НМД) в зоні пожежі) осіб;
- кількості комплектів засобів особистого захисту уражених –  $N_{зозр}$ ;
- кількості комплектів засобів надання НМД ураженим –  $N_{зНМД}$ ;
- кількості санітарних машин –  $N_{сан.маш}$  (для забезпечення екстреної евакуації тяжкоуражених до спеціалізованих лікувальних закладів), одиниць.

### Література

1. Климась Р., Скоробагатько Т. Стан із пожежами та наслідками від них в Україні за 2006 рік //

Пожежна безпека. – 2007. – №2. – С. 30-32.

2. НАПБ А.01.001 – 95. Правила пожежної безпеки в Україні. – Із змінами, введеними в дію наказом МВС України від 5.03.2002 р. № 217; зареєстровано в Міністерстві України 26.03.2002 р. № 297/6585. – К.: Основа, 2002. – 176 с.

3. Иванников В.П., Ключ П.П. Справочник руководителя тушения пожара. – М.: Стройиздат, 1987. – 289 с.

4. Красовський Г.Я., Клеєвська В.Л. Інформаційна технологія завчасного визначення та відображення форми, геометричних розмірів і просторового розташування зон можливого ураження внаслідок пожеж // Екологія і ресурси. – 2004.– Вип.9. – С. 20-32.

5. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1973. – 320 с.

6. Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте. – К.: Штаб ГО Украины, 1990. – 41 с.

7. Безопасность жизнедеятельности / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова – М.: Высшая школа, 2001. – 485 с.

8. Справочник по противопожарной службе гражданской обороны. – М.: Воениздат, 1982. – 144 с.

*Надійшла до редакції 4.06.2007.*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Г.Я. Красовський, Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків.